

# **ПОВЫШЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СПЛАВА Ti-6,8Mo-4,5Fe-1,5Al ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ В СОЧЕТАНИИ С ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ**

**А. Е. Медведев**

*Руководитель – канд. техн. наук, с.н.с. И.П. Семёнова*

Уфимский Государственный Авиационный Технический Университет, г.Уфа

[sshmedvedev@mail.ru](mailto:sshmedvedev@mail.ru)

Титан и его сплавы широко применяются как конструкционные материалы во многих отраслях промышленности, в том числе и в автомобилестроении. Такая популярность объясняется, в первую очередь, малым удельным весом, высокими прочностными свойствами при отсутствии хладноломкости, наличием высокой коррозионной стойкости, даже в агрессивных средах [1]. Особый интерес вызывают  $\beta$ -титановые сплавы, которые, кроме того, отличаются более низким модулем упругости, хорошей технологичностью и деформируемостью [2]. Совокупность всех этих свойств позволяет использовать полуфабрикаты из  $\beta$  титановых сплавов для изготовления отдельных деталей двигателей (поршни, клапаны, пружины клапанов) и пружин автомобильных подвесок [3]. Высокие нагрузки, которые испытывают данные детали автомобиля, требуют повышения их эксплуатационных свойств, в частности, прочности и долговечности материалов, из которых они изготовлены. Известно, что одним из эффективных способов повышения механических свойств в металлах и сплавах является формирование ультрамелкозернистой структуры методами интенсивной пластической деформации (ИПД) [4].

В этой связи целью данной работы было исследование влияния ИПД на механические свойства  $\beta$ -титанового сплава Ti – 6,8Mo – 4,5Fe – 1,5Al.

Аттестация микроструктуры сплава проводилась методом оптической металлографии и просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ). Механические свойства оценивались по результатам измерения микротвёрдости, а также проведения механических испытаний.

В ходе исследования методом пробных закалок была определена температура полиморфного превращения  $T_{\text{пм}}$ , после чего была выбрана температура обработки на  $\beta$ -раствор (ОТР) - 820 °С. С целью повышения механических свойств образцы материала диаметром 20 мм после ОТР из  $\beta$ -области подвергались ИПД методом равноканального углового прессования (РКУП) (1 проход) при комнатной температуре. Для дополнительного упрочнения проводились деформация экструзией (1,2 и 3 прохода). Как известно,  $\beta$ -сплавы имеют высокую чувствительность к старению, поэтому дополнительным вкладом в упрочнение может быть выделение частиц  $\alpha$ -фазы в  $\beta$ -матрице. В данной работе старению подвергались образцы сплава в состоянии после ОТР и последующего РКУП и экструзии при комнатной температуре в течение 4 и 8 часов в интервале температур 300 – 560 °С.

Установлено, что микроструктура сплава после закалки с 820 °С представляла собой неоднородную структуру: размер  $\beta$ -зерен варьировался от 15 до 100 мкм. При этом микротвёрдость сплава составила 3300 МПа, предел прочности - 915 МПа. После проведения 1 прохода РКУП микротвёрдость сплава возросла до значения 3660 МПа, а предел прочности вырос до значения 1130 МПа за счет измельчения структуры. Применение наряду с РКУП деформации экструзией позволило значительно увеличить прочность сплава, после 3 проходов предел прочности достиг значения 1518 МПа. Структурное состояние сплава после ИПД-обработки характеризовалось высоким уровнем напряжений и искажений кристаллической решетки, а также развитой субструктурой.

С целью изучения влияния режима старения на механические свойства сплава после ИПД были проведены экспериментальные исследования зависимости микротвёрдости материала от времени выдержки и температуры. Из литературы [3] известно, что наиболее оптимальным режимом для старения титанового сплава данного состава является 8 часов при 520 °С, и заключается в выделении  $\alpha$ -частиц в  $\beta$ -матрице по границам зёрен/субзёрен. Можно полагать, что измельчение структуры сплава после ИПД может привести к более равномерному выделению частиц ввиду более высокой протяженности границ и субграниц и, следовательно, к повышению прочности материала.

Было установлено, что старение ИПД-сплава при температуре 520 °С в течение 4 часов имеет больший эффект увеличения микротвёрдости, чем после 8 часов. Увеличение продолжительности до 8 часов, очевидно, привело к значительной релаксации напряжений и возврату вследствие высокой запасённой энергии в структуре после ИПД. Влияние температуры на микротвёрдость было исследовано для более широкого круга температур, при этом продолжительность нагрева была 4 часа (рис. 1).

По результатам измерения микротвёрдости установлены некоторые отличия в поведении сплава в состоянии после ОТР и ОТР+ИПД. Например, максимальная микротвёрдость сплава после ОТР достигала значения 5500 МПа после старения при 460°С, а в ИПД-сплаве - 6042 МПа после старения при температуре 430 °С в течение 4 часов, что, возможно, связано в данном случае с более благоприятной морфологией и однородным распределением частиц  $\alpha$ -фазы в  $\beta$ -твердом растворе, о чем свидетельствовали ПЭМ-изображения структуры. Однако детальные структурные исследования будут проведены в дальнейшей работе.

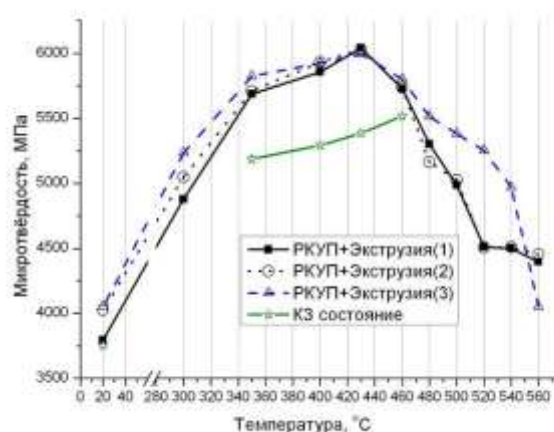


Рис. 1. Влияние температуры старения на микротвёрдость сплава  $\text{Ti} - 6,8\text{Mo} - 4,5\text{Fe} - 1,5\text{Al}$  ( $t = 4\text{ч}$ ).

Таким образом, проведенные в данной работе исследования показали принципиальную возможность достижения высокой прочности в сплаве  $\text{Ti} - 6,8\text{Mo} - 4,5\text{Fe} - 1,5\text{Al}$  за счет измельчения  $\beta$ -структуры в результате РКУП и экструзии, и последующего выделения дисперсных частиц  $\alpha$ -фазы в процессе дополнительного старения.

#### Литература:

- [1] Ю.А. Геллер, А.Г. Рахштадт. Материаловедение, М.: Металлургия, 1989. 456 с.
- [2] Е.В. Коллинз. Физическое металловедение титановых сплавов, М.: Металлургия, 1988. 224 с.
- [3] O.M. Ivasishin, P.E. Markovsky. A comparative study of the mechanical properties of the high-strength  $\beta$ -titanium alloys, Journal of Alloys and Compounds, 2007
- [4] Валиев Р.З., Александров И.В. Объемные наноструктурные металлические материалы: получение, структура и свойства. – М.: ИКЦ «Академкнига». 2007. - 398 с.